

0- 788394



На правах рукописи

И.С.

Хрипачева Инна Сергеевна

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЦЕМЕНТЫ
С ОТВАЛЬНЫМИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМИ ШЛАКАМИ
ЦЕНТРОБЕЖНО-УДАРНОГО ПОМОЛА
И БЕТОНЫ НА ИХ ОСНОВЕ**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань 2011

Работа выполнена на кафедре строительных материалов и изделий
ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им.
Г.И. Носова».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Гаркави Михаил Саулович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
академик РААСН, Магдеев Усман Хасанович

доктор технических наук, доцент
Рахимова Наиля Равиловна

Ведущая организация: ГОУ ВПО "Саратовский государственный
технический университет"

Защита состоится 23 июня 2011 г. в 15.00 часов на заседании диссертационного
совета Д 212.077.01 при Казанском государственном архитектурно-строительном
университете по адресу: 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д.1, КГАСУ, ауд. 3-203
(Зал заседаний Ученого совета).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского государственного
архитектурно-строительного университета.

Автореферат разослан 20 мая 2011 г.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000684587

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д.т.н., профессор

Абдрахманова Л.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

За время существования металлургических заводов рядом с ними накопилась значительная часть отходов, которые после завершения технологического процесса вывозятся в отвалы. В мировой и российской практике металлургические шлаки при производстве строительных материалов используются давно. Шлаковые отвалы занимают огромные территории и являются источниками экологического неблагополучия в регионах. В соответствии с Федеральным Законом «Об отходах производства и потребления» необходимо обеспечить исполнение основных принципов государственной политики, направленных на создание безотходных или малоотходных производств, охрану здоровья человека и состояния окружающей природной среды.

Изучению шлаков посвящены труды Боженова П.И., Бута Ю.М., Горшкова В.С., Сычева М.М., Лапина В.В., Будникова П.П., Глуховского В.Д., Петрова Т.М., Школьника Я.Ш., Рояка С.М., Рахимова Р.З., Рахимовой Н.Р., Баталина Б.С., Мчедлова-Петросяна О.П., Магдеева У.Х., Аксеновских А.И и др. На сегодняшний день самыми изученными шлаками являются широко распространенные доменные гранулированные шлаки, самыми малоисследованными – шлаки редких ферросплавных производств. Отвальные металлургические шлаки не нашли широкого распространения при переработке их в вяжущие материалы вследствие закристаллизованности их структуры и низкой гидравлической активности.

Повысить потенциальную реакционную способность материалов, увеличивая дефектность поверхности, возможно посредством применения энергонапряженных измельчителей. Поэтому стал возможен переход на производство новых композиционных цементов с частичной заменой клинкерной составляющей отвальными металлургическими шлаками.

Эффективность данного направления работ является актуальной как в плане реализации цементосберегающих технологий, так и поиска путей повышения качества цементов и бетонов на их основе. Экологический и экономический эффект заключается в использовании вторичных ресурсов, получении местных строительных материалов, ликвидации отвалов и шлакохранилищ.

Цель работы: - получение композиционных цементов на основе отвальных металлургических шлаков, измельченных в центробежно-ударной мельнице и бетонов на их основе.

Достижение поставленной цели требовало решения следующих задач:

- определить влияние центробежно-ударного измельчения на реакционную способность отвальных металлургических шлаков.

- установить влияние состава композиционных цементах на твердение и строительно-технические свойства этих цементах.

- изучить свойства бетонов на основе полученных композиционных цементах.

Научная новизна:

Впервые обосновано и экспериментально подтверждено, что при центробежно-ударном измельчении отвалных металлургических шлаков происходит повышение их реакционной способности за счет увеличения концентрации поверхностных дефектов.

Установлено, что при твердении композиционных цементах с содержанием отвалных металлургических шлаков более 15% имеет место многоступенчатое структурообразование, т.е. периодическое возникновение контактов одной и той же природы (коагуляционных или коагуляционно-конденсационных).

Установлено, что активность и состав композиционного цемента определяется кристаллической структурой белитовой фазы отвалных электро-сталеплавильных шлаков.

Достоверность научных выводов и результатов работы обеспечена применением современного оборудования для стандартных испытаний, корректностью постановки задач, принятых допущений, достаточным объемом исходных данных и результатов исследований, удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, использованием комплекса современных физико-химических методов анализа.

Практическая значимость работы:

Впервые получены композиционные цементы из отвалных металлургических шлаков центробежно-ударного помола. Определены физико-технические и эксплуатационные свойства тяжелых бетонов на основе этих цементах.

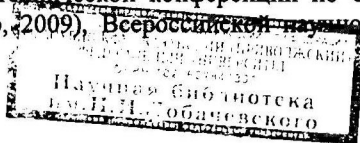
Определены рациональные области использования композиционных цементах на основе отвалных металлургических шлаков центробежно-ударного измельчения в зависимости от их вещественного состава.

Внедрение результатов исследований:

Научные результаты использовались ЗАО «Урал-Омега» при разработке технологического регламента на изготовление композиционных цементах. Технологический регламент передан ОАО «Чусовской металлургический завод» для организации выпуска композиционных цементах из отвалных стабилизированных электросталеплавильных шлаков.

Апробация работы:

Основные положения диссертационной работы представлены на 17-ой Международной научно-технической конференции по строительным материалам «ibausil» (Веймар, 2009), Всероссийской научно-практической кон-



ференции «Строительное материаловедение сегодня: актуальные проблемы и перспективы развития» (Челябинск, 2010), Международной научно-технической конференции «Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии» (Казань, 2010), а так же на ежегодных вузовских конференциях ГОУ ВПО «МГТУ» в 2007-2010 гг.

Публикации:

Результаты исследований, отражающие основные положения диссертационной работы, изложены в шести научных публикациях, в том числе в двух статьях в журналах, включенных в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендуемых ВАК РФ.

На защиту выносятся:

- особенности твердения полученных композиционных цементов в зависимости от вида и дозировки отвалных металлургических шлаков
- закономерности изменения прочностных показателей в зависимости от вещественного состава композиционных цементов.
- результаты физико-технических исследований бетонов на основе композиционных цементов.

Объем и структура работы:

Диссертация состоит из введения, 4 глав, основных выводов, списка литературы и приложения. Работа изложена на 122 страницах машинописного текста, содержит 26 таблиц, 37 рисунков, список литературы из 132 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрывается актуальность темы диссертационной работы и обосновывается целесообразность и научное значение применения для изготовления композиционных цементов отвалных металлургических шлаков центробежно-ударного помола, приводятся основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрена целесообразность применения для изготовления композиционных цементов отвалных металлургических шлаков, которые имеют необходимый химико-минералогический состав, но их применение ограничено вследствие низкой гидравлической активности, обусловленной их кристаллической структурой.

Для использования указанных шлаков необходимо не только их тонкое измельчение, но и максимально полное раскрытие дефектов. Из известных и применяемых в технологии цементов измельчителей данному требованию в наибольшей степени отвечают ударные.

В заключительной части главы определены цель и задачи исследования.

Во второй главе дана характеристика применяемых материалов и использованных методов исследования.

В качестве сырьевых материалов для получения портландцемента в центробежно-ударной мельнице приняты клинкер ОАО «Магнитогорский цементно-огнеупорный завод», гипсовый камень Дубининского месторождения. Фазовый состав клинкера представлен в табл. 1, химический – в табл. 2.

Таблица 1

Расчетный фазовый состав клинкера

Массовая доля минералов, %			
C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
62,5	9,4	8,2	13,2

Таблица 2

Химический состав клинкера

Массовая доля компонентов, %					
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3
20,6	5,4	3,9	60,1	4,4	2,8

В работе использованы отвалыные электросталеплавильные шлаки ОАО «Чусовской металлургический завод», стабилизированные для предотвращения силикатного распада: шлак №1 - введением борсодержащей добавки, шлак №2 - быстрым охлаждением и доменный отвалыный шлак Магнитогорского металлургического комбината (шлак №3). Химический состав шлаков приведен в табл. 3.

Таблица 3

Химический состав шлаков

№ шлака	Ма	МО	Ка	Массовая доля оксидов, %							
				SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	Fe_2O_3	SO_3	MnO
1	0,57	1,47	2,4	25,0	14,3	44,9	12,9	0,82	0,6	0,6	0,1
2	0,97	1,1	3,14	23,0	22,5	41,4	9,1	0,22	0,7	0,5	0,15
3	0,29	0,95	1,5	33,7	10,1	33,6	8,4	0,52	5,8	1,0	0,71

Определение активности шлаков по методу поглощения извести (метод РХТУ им. Д.И. Менделеева) показало, что используемые шлаки являются малоактивными минеральными добавками. Количество поглощенной извести на 1 гр. добавки за 30 суток, для шлака №1 - 35 мг CaO , для шлака №2 – 40 мг CaO , для шлака №3 – 55 мг CaO .

Фазовый состав для шлака №1 - геленит (33%), бредигит (26%), ларнит (27%); для шлака №2 – геленит (10%), мервинит (15%), бредигит

(25%); для шлака №3 – анортит (12%), псевдоволластонит (22%), геленит (26%), бредигит (10%).

Измельчение клинкера, гипсового камня, шлаков проводилось в центробежно-ударной мельнице (ЦУМ) со встроенным сепаратором. Принцип работы мельницы основан на механическом разгоне частиц и ударе их о преграду.

Зерновой состав шлаков, измельченных в центробежно-ударной мельнице, характеризуется узкой гранулометрией с преобладающим размером частиц для доменного шлака 40 мкм, для шлаков №1 и №2 – 50.

Зерновой состав цемента определяли лазерным гранулометром «Mastersizer», строительно-технические свойства цемента – по стандартным методикам.

Для оценки свойств композиционных цемента в бетонах использовались щебень порфириновый гранитного карьера треста Магнитострой фракций 5-10 и 10-20 мм, а также песок речной уральский. Физико-механические характеристики заполнителей представлены в табл. 4 и 5.

Таблица 4

Гранулометрический состав песка

Полные остатки на ситах с размером отверстий, мм							Модуль крупности
5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	<0,16	
-	5%	13,5%	49,7%	87,5%	94,5%	5,5%	2,5

Таблица 5

Физико-механические характеристики заполнителя

Материал	Средняя плотность зерен, кг/м ³	Насыпная плотность, кг/м ³	Пустотность, %	Марка по дробимости	Водопоглощаемость, %	Содержание лежачих зерен, %
Щебень	2594	1469	43	1000	-	28
Песок	2630	1390	38	-	7-8	-

Физико-механические, деформативные, эксплуатационные свойства бетонов определяли согласно действующим стандартам. Морозостойкость определялась по ГОСТ 10060.0-95.

Для изучения процесса твердения вяжущих систем использовался электрофизический метод. Этот метод основан на непрерывной фиксации электрического сигнала, возникающего в твердеющей системе в результате протекающих в ней физико-химических процессов.

Третья глава посвящена исследованию структуры и свойств композиционных цемента в зависимости от вида и содержания шлаков.

Сравнительный анализ компонентов композиционных цемента, измельченных в различных мельницах, показал, что они существенно различаются по удельной поверхности (табл. 6).

Таблица 6

Удельная поверхность материалов

Материал	Измельчен в шаровой мельнице			Измельчен в ЦУМ		
	Насыпная плотность, кг/м ³	Величина удельной поверхности (см ² /г), определенная методом		Насыпная плотность, кг/м ³	Величина удельной поверхности (см ² /г), определенная методом	
		воздухопроницаемости	сорбции азота		воздухопроницаемости	сорбции азота
Исходный ПЦ	3050	3781	8153	3068	2036	13310
Молотый шлак №1	3105	3241	5629	3246	1539	11400
Молотый шлак №2	3091	3458	7358	3199	1688	12100
Молотый шлак №3	2910	3159	5427	2998	1550	10920

Материалы, измельченные в шаровой мельнице, характеризуются более высокой удельной поверхностью, определенной методом воздухопроницаемости (по Блейну). Однако, удельная поверхность по методу сорбции азота (методу БЭТ) этих материалов, измельченных в центробежно-ударной мельнице, значительно выше, чем у аналогов, полученных в шаровой мельнице. Это свидетельствует о высокой дефектности частиц и связанной с ней концентрацией поверхностных активных центров. Таким образом, измельчение в центробежно-ударной мельнице компонентов композиционных цементов способствует увеличению их реакционной способности. Этот вывод подтверждается данными (рис. 1), из которых следует, что при прочих равных условиях, активность цемента, компоненты которого измельчались в центробежно-ударной мельнице, на 46-64 % превышает активность цементов, измельчаемых в шаровой мельнице.

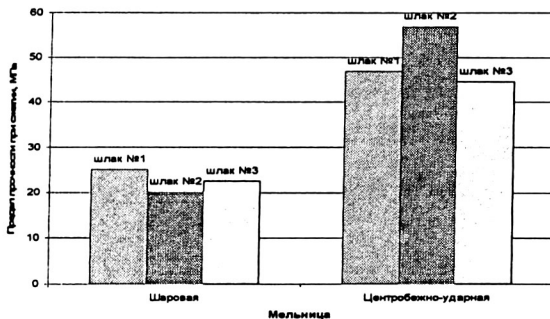


Рис. 1. Влияние способа измельчения компонентов на активность композиционных цементов

Из приведенных данных очевидна высокая эффективность использования при помеле компонентов центробежно-ударной мельницы.

Несмотря на то, что шлаки №1 и №2 имеют схожий фазовый состав, имеются различия в их структуре, в частности, в степени нарушения кристаллической решетки. Прочность их наиболее важной составляющей – белитовой фазы – растет с увеличением дефектности кристаллической структуры, возникающей благодаря внедрению в ее решетку примесных ионов. Замещение иона Ca^{2+} ионом B^{3+} (при стабилизации структуры шлака) значительно деформирует решетку белита, так как в некоторой части координационных многогранников ионы O^{2-} удаляются от центрального иона Ca^{2+} под действием иона B^{3+} , а в другой их части, сохранившей прежнюю координацию по кислороду, наоборот, сближаются. Эта деформация, вероятно, способствует более интенсивному процессу протекания реакции гидратации, что и обуславливает более высокие показатели прочности шлаковых цементов (табл. 7).

Таблица 7

Строительно-технические свойства композиционных цементов из шлаков №1 и №2

Вид шлака	Сод. шлака в цементе, %	НГЦТ, %	Сроки схватывания, мин		Предел прочности при различных условиях твердения, МПа					
			Нач.	Кон.	ТВО		ТВО+27		н.т.	
					Изг.	Сж.	Изг.	Сж.	Изг.	Сж.
-----	0	29	60	150	5,0	33,5	5,6	48,3	7,2	45,4
Ш 1	5	29,5	65	200	5,0	32,5	5,5	27,6	6,5	48,0
	15	30	95	240	6,1	27,6	5,5	28,6	6,2	46,9
	30	31,5	55	200	4,1	25,0	5,4	28,6	5,6	34,0
	50	32,5	12	30	1,0	10,9	5,3	23,4	6,8	15,4
Ш 2	5	29,5	70	250	4,3	32,0	5,4	15,3	6,7	37,8
	15	31	45	140	5,9	28,6	4,7	26,3	6,1	56,9
	30	33	22	45	2,9	24,3	2,7	23,3	5,6	54,0
	50	32	15	45	1,0	13,1	1,6	18,0	5,3	24,4

* Все композиционные цементы выдержали испытания на равномерность изменения объема

Различия в структуре указанных шлаков предопределяет их разное рациональное содержание в составе композиционных цементов. Цементы на основе шлака №1 имеют высокую активность при содержании шлака до 15%, а цементы на основе шлака №2 - при его содержании до 30%. При этом цементы на шлаке №1 более активны при тепловой обработке даже при высоком содержании шлака, что обусловлено вышеуказанным различием кристаллической структуры шлаков.

Исследование микроструктуры полученного цементного камня показа-

ло, что шлаковые зерна являются хорошей подложкой для формирования плотных продуктов гидратации, близких по химическому составу самого шлака. Отдельные минеральные составляющие образуют различные структуры в контактных зонах по механизмам, которые определяются химической растворимостью в щелочной среде, энергетическим состоянием поверхности и размером частиц. Образуется плотная упорядоченная структура цементного камня с большим числом межчастичных контактов. Это хорошо согласуется с физико-механическими характеристиками этих цементов. Таким образом, можно предположить, что подбор оптимального сочетания минеральных наполнителей с разным химическим, минералогическим составом и энергетическим потенциалом поверхности позволит управлять структурообразованием цементного камня.

В табл. 8 приведены строительно-технические свойства композиционных цементов на основе доменного отвалного шлака. Эти цементы характеризуются высокой активностью при содержании в них шлака до 20%. Следует отметить, что температурный фактор с последующим нормальным твердением положительно влияет на процесс набора прочности этих композиционных цементов. Это обусловлено фазовым составом доменного отвалного шлака, в частности присутствием фаз анортита и псевдоволластонита.

Таблица 8

Строительно-технические свойства композиционных цементов из шлака №3

Содержание шлака в це- менте, %	НГЦТ, %	Сроки схватыва- ния, мин		Предел прочности при различных условиях твердения, МПа					
		Нач.	Кон.	ТВО		ТВО + 27 сут.		Н. т. (28 сут.)	
				Изг.	Сж.	Изг.	Сж.	Изг.	Сж.
0	27,5	60	150	5,0	33,5	5,6	48,3	7,2	45,4
10	28	80	230	5,4	32,2	5,6	48,3	6,6	45,4
15	28,2	90	240	5,4	30,8	5,6	48,2	6,4	44,6
20	28,5	100	260	5,3	29,4	5,6	47,6	6,3	44
30	29	140	300	4,1	28,1	5,4	44,3	6,2	39,6
40	29,5	220	340	4	24,9	5,2	32,4	6,2	29,7
50	30	260	360	3,7	15,8	4	30,3	4,9	28,2

При твердении многокомпонентных вяжущих химические реакции гидратации сопряжены с одним и тем же процессом структурообразования, имеющим физическую природу. Если вяжущая система представляет собой механическую смесь компонентов (композиционный цемент), обладающих различной гидравлической активностью, то взаимодействие собственных химических реакций их гидратации с процессом структурообразования может быть разделено по времени. В результате имеет место многоступенчатое структурообразование, под которым понимается периодическое возникнове-

ние в вяжущей системе межчастичных контактов одной и той же природы (коагуляционных или коагуляционно-конденсационных).

Электрофизическое исследование (рис. 2) подтвердило развитие многоступенчатого структурообразования при твердении композиционных цементов с содержанием металлургических шлаков свыше 15%. Это обусловлено интенсификацией пуццолановой реакции шлака с гидроксидом кальция, который образуется при гидратации клинкерной составляющей композиционного цемента. При малом содержании шлака (до 15%) эта реакция, по-видимому, будет развиваться практически синхронно с реакцией клинкерной составляющей, т.е. процесс структурообразования одноступенчатый.

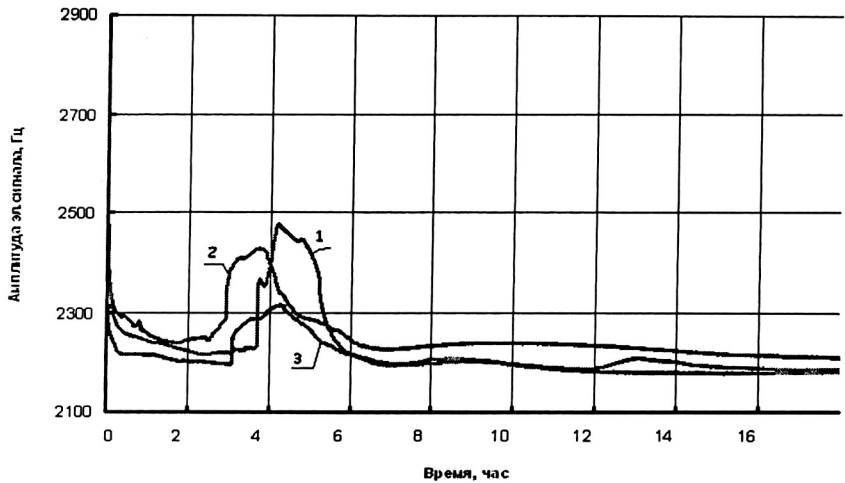


Рис. 2. Кинетика изменения электрического сигнала при твердении цемента: 1 – цемент без шлака; 2 – композиционный цемент с 15% отвалного металлургического шлака; 3 – композиционный цемент с 30% отвалного металлургического шлака

Физико-технические свойства композиционных цементов определяются такими факторами, как степень их наполнения минеральной добавкой, ее дисперсностью, активностью поверхности и т.д.

Основным структурообразующим фактором является степень наполнения вяжущего минеральной добавкой φ , определяемая по соотношению:

$$\varphi = \frac{H}{H + Ц},$$

где H – масса минеральной добавки; $Ц$ – масса портландцемента.

Изменение активности композиционных цемента в зависимости от объемного соотношения компонентов композиционного цемента представлены на рис. 3.

Если принять, что величина $\phi_{кр}$ соответствует составу вяжущего, обеспечивающего получение равной с исходным портландцементом прочности, то следует, что шлак №2 с высокой гидравлической активностью обеспечивает получение равнопрочного смешанного вяжущего при большом значении $\phi_{кр}$.

Таким образом, на основании проведенных исследований, композиционные цементы в зависимости от содержания шлаков можно разделить на три группы в зависимости от рациональной области использования (табл. 9):

1 – группа. Вяжущие характеризуются высокой термодинамической устойчивостью и упорядоченностью образующейся структуры твердения. Композиционные вяжущие этой группы являются заменителями бездобавочных цемента.

2 – группа. Композиционные вяжущие целесообразно использовать для изготовления бетонов, твердеющих при тепловой обработке, а так же для медленнотвердеющих бетонов массивных сооружений.

3 – группа. Высоконаполненные композиционные вяжущие с большим содержанием минеральной добавки. Образуют малопрочную структуру твердения с низкой термодинамической устойчивостью. Целесообразно использовать для производства низкомарочных бетонов и растворов.

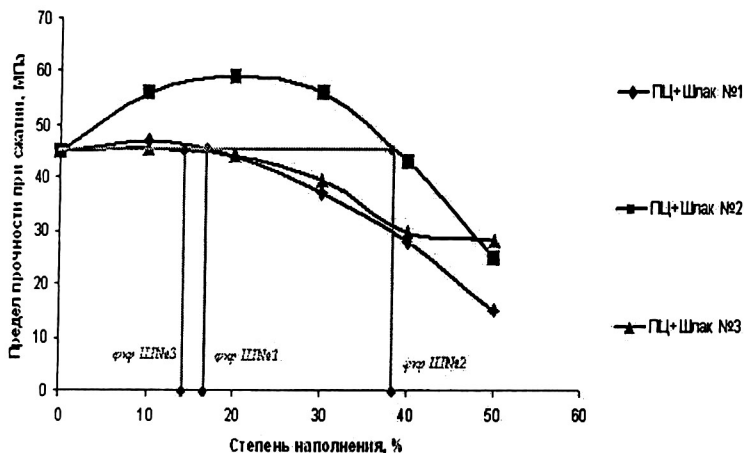


Рис. 3. Зависимость активности композиционных цемента от степени наполнения шлаком

Таблица 9

Рациональные области применения композиционных цементов

Степень наполнения, %	Вид шлака		
	Ш№1	Ш№2	Ш№3
	Области использования		
10	1	1	1
15			
20			
25			
30			
35	2	1	2
40			
45			
50			

В четвертой главе описаны свойства бетонов на основе цементов центробежно-ударного измельчения.

Для исследования физико-механических и эксплуатационных свойств тяжелого бетона на композиционных цементах приняты цементы, состав которых представлен в табл. 10.

Таблица 10

Используемые композиционные цементы

Вид шлака	Содержание шлака, %	Активность цемента	Класс прочности	Условное обозначение цемента
Без шлака	0	45,4	42,5 Н	ЦД0
Шлак №1	15	46,9	42,5 Н	ЦШ1 15
	30	34,0	22,5 Н	ЦШ1 30
Шлак №2	15	56,9	42,5 Б	ЦШ2 15
	30	54,0	42,5 Б	ЦШ2 30
Шлак №3	15	44,6	42,5 Н	ЦШ3 15
	30	39,6	32,5 Н	ЦШ3 30

На основе указанных цементов из бетонной смеси подвижности П2 были изготовлены тяжелые бетоны, состав которых представлен в табл. 11.

Таблица 11

Составы бетонных смесей на основе композиционных цемента

Цемент	Класс бетона	Расход материалов, кг/м ³				Ц/В	Средняя плотность смеси, кг/м ³
		Ц	В	Щ	П		
ЦДО	В 15	241	195	1325	581	1,23	2342
ЦДО	В 20	276	195	1194	685	1,4	2350
ЦШ1 30	В 15	280	195	1263	603	1,43	2341
ЦШ1 15	В 20	270	195	1188	696	1,39	2349
ЦШ2 30	В 15	218	195	1318	608	1,11	2339
ЦШ2 15	В 20	240	195	1252	656	1,23	2343
ЦШ3 30	В 15	262	195	1215	676	1,34	2348
ЦШ3 15	В 20	280	195	1183	694	1,43	2352

Показатели прочности полученных бетонов при различных условиях твердения представлены в табл. 12.

Таблица 12

Показатели прочности бетона при сжатии

Цемент	Класс бетона	Предел прочности при различных условиях твердения, МПа		
		ТВО	ТВО + 27 сут.	н. т. (28 сут.)
ЦДО	В 20	18,3	26,3	25,9
ЦШ1 15		16,8	22,9	26,5
ЦШ2 15		19,3	28,5	27,3
ЦШ3 15		18,2	26,4	24,4
ЦДО	В 15	13,7	19,8	19,5
ЦШ1 30		10,3	15,4	20,2
ЦШ2 30		11,6	15,7	22,3
ЦШ3 30		15,4	21,9	20,4

Полученные данные (табл. 12) подтверждают высокую эффективность тепловой обработки с последующим нормальным твердением бетонов на цементе с доменным отвальным шлаком и предпочтительность нормального твердения для бетонов на цементе со шлаками №1 и №2.

Физико-технические характеристики бетонов приведены в табл. 13. Класс бетона определялся после испытания образцов, твердевших в нормальных условиях в течение 28 суток.

Результаты испытания (табл. 13) свидетельствуют, что бетоны на композиционных цементах центробежно-ударного измельчения по средней и призмной прочности на сжатие имеют показатели не ниже стандартных

показателей, устанавливаемых для заданных классов бетона по прочности на сжатие.

Таблица 13

Физико-технические свойства бетонов

Цемент	Класс бетона	Средняя прочность на сжатие $R_{сж}$, МПа	Применная прочность $R_{пр}$, МПа	$R_{пр}/R_c$, %	Прочность на раскалывание $R_{раск}$, МПа	$R_{раск}/R_{сж}$, %	E, МПа	Марка по морозостойкости
ЦШ115	В 20	26,5	18,5	70	2,7	10,4	27000	F 150
ЦШ1215		27,3	19,7	72	2,8	10,4	30000	F 150
ЦШ1315		24,4	17,5	71	2,5	10,6	27000	F 75
ЦШ130	В 15	20,2	14,3	70	2,1	10,5	25500	F 100
ЦШ230		22,3	15,7	70	2,8	13,0	28000	F 100
ЦШ330		20,4	14,2	70	2,7	13,0	25000	F 50

Бетоны на основе отвалных электросталеплавильных шлаков превосходят по морозостойкости бетоны на основе отвалных доменных шлаков, что является следствием повышенного содержания белита в составе металлургических шлаков. Но тепловая обработка негативно влияет не только на формирование структуры цементного камня со шлаками № 1 и № 2, но и бетона, что согласуется с данными, приведенными в таблице 12.

Сульфатостойкость бетонов на композиционных цементах из отвалных металлургических шлаков, по коэффициенту сульфатостойкости в возрасте 6 и 12 месяцев, является удовлетворительной.

Поскольку современная технология бетона предусматривает широкое использование различных химических добавок (главным образом пластификаторов), то исследовалось влияние наиболее часто применяемых суперпластификаторов на нафталино-формальдегидной основе С-3 (0,5% массы цемента), на основе модифицированных акриловых полимеров – Dynapom SX14 (0,25% массы цемента) на твердение композиционных цементов. В результате проведенных исследований установлено, что при увеличении шлаковой составляющей в цементе, в присутствии добавок набор прочности композиционных цементов происходит более интенсивно.

Свойства бетонов с указанными добавками на композиционных цементах из электросталеплавильных шлаков представлены в табл. 14. Исходя из приведенных данных, можно заключить, что введение пластифицирующих добавок приводит к снижению водопотребности, и как следствие, увеличению прочности бетонов при сжатии на 4 – 9 %.

Таблица 14

Свойства бетонной смеси и бетона на композиционном цементе

Вид шлака	Класс бетона	Добавка	Расход воды затворения, л/м ³	Средняя плотность бетонной смеси, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа
Ш 1	В 15	-----	195	2350	20,2
		C-3	190	2345	20,9
		SX-14	180	2336	22,6
	В 20	-----	195	2349	26,5
		C-3	190	2345	27,7
		SX-14	170	2320	32,7
Ш 2	В 15	-----	195	2339	22,3
		C-3	185	2330	24,3
		SX-14	180	2326	25,6
	В 20	-----	195	2343	27,3
		C-3	175	2320	22,6
		SX-14	170	2315	33,9

Экспериментальные данные свидетельствуют, что отвалы шлаки измельченные в центробежно-ударной мельнице, вследствие повышения их реакционной способности при помоле, возможно использовать взамен части клинкера, что позволяет улучшить физико-механические свойства этих цементов и бетонов на их основе.

Известно, что применение центробежно-ударной мельницы для измельчения цементов позволяет сократить энергзатраты на 10,5-30%, а изнашиваемость деталей более чем в 7 раз в сравнении с традиционной системой измельчения. Экономический эффект от замены ШПЦ М 400 на композиционный цемент центробежно-ударного измельчения их отвалных металлургических шлаков составляет для бетона класса В15 из цемента со шлаком №1 – 168 руб./м³, со шлаком №2 – 411 руб./м³, со шлаком №3 – 246 руб./м³, а для бетона класса В20 – 93 руб./м³ для цементов со шлаком №1, 259 руб./м³ для цементов со шлаком №2 и 42 руб./м³ для цементов, содержащих шлак №3.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Установлено, что удельная поверхность, определенная методом БЭТ, материалов, измельченных в центробежно-ударной мельнице, превышает аналогичные показатели материалов, измельченных в шаровой мельнице. Это свидетельствует о более высокой дефектности частиц.

2. Установлено, что вещественный состав композиционных цементов с использованием электросталеплавильных шлаков обусловлен структурой бели-та в их составе. Показано, что стабилизация белитовой фазы в составе шлака борсодержащей добавкой позволяет повысить его содержание в составе композиционного цемента до 30% без снижения активности.
3. Активность композиционных цементов, полученных центробежно-ударным помолем, превышает на 46-64% активность их аналогов, измельченных в шаровой мельнице.
4. Определены рациональные составы композиционных цементов на основе отвалных металлургических шлаков и установлены области их применения.
5. Установлены оптимальные условия твердения для бетонов на основе композиционных цементов. Для бетонов на композиционных цементах из отвалных доменных шлаков эффективна тепловая обработка с последующим нормальным твердением, для бетонов на композиционных цементах из отвалных электросталеплавильных шлаков - твердение в нормальных условиях.
6. Бетоны на композиционных цементах центробежно-ударного измельчения по физико-механическим показателям удовлетворяют требованиям нормативных документов. Установлено, что морозостойкость бетонов на основе композиционных цементов с отвальными электросталеплавильными шлаками превосходит по морозостойкости бетоны на композиционном цементе с отвальным доменным шлаком.
7. Показана возможность применения пластифицирующих добавок различной природы (нафталино-формальдегидной и полиакрилатной) для композиционных цементов и бетонов на их основе.
8. Экономический эффект от замены ШПЦ М 400 на композиционный цемент центробежно-ударного измельчения составляет бетона класса В15 из цемента со шлаком №1 – 168 руб./м³, со шлаком №2 – 411 руб./м³, со шлаком №3 – 246 руб./м³, а для бетона класса В20 - 93 руб./м³ для цементов со шлаком №1, 259 руб./м³ для цементов со шлаком №2 и 42 руб./м³ для цементов, содержащих шлак №3.

Основное содержание диссертации опубликовано в 6 печатных работах, из них:

– В ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендуемых ВАК РФ:

1. Гаркави, М.С. Оптимизация составов смешанных вяжущих с использованием отвалных электросталеплавильных шлаков / М.С. Гаркави, И.С. Хрипачева // Строительные материалы. – 2010. – № 2. – С. 56.

2. Гаркави, М.С. Смешанные цементы центробежно-ударного измельчения на основе доменного отвального шлака / М.С. Гаркави, И.С. Хрипаче-

ва // Строительные материалы. – 2010. № 8. – С. 40-41.

– В других изданиях:

3. **Хрипачева, И.С.** Бетоны на смешанных цементах центробежно-ударного помола на основе доменного отвального шлака / И.С. Хрипачева // Строительное материаловедение сегодня: актуальные проблемы и перспективы развития: Материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Челябинск, 2010. – С. 144-145.

4. Гаркави, М.С. Цементы центробежно-ударного измельчения / М.С. Гаркави, А.В. Артамонов, С.С. Шленкина, **И.С. Хрипачева**, С.А. Кашеева // Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии: Материалы XV Академических чтений РААСН – Международной научно-технической конференции. – Казань, 2010. – С. 24-27.

5. Garkavi, M. Mischzemente auf Basis von Elektrostalwerkschlacken durch Thentrobezhno-Stosszerkleinerung / M. Garkavi, **I. Hripacheva**, A. Artamonov // 17 Internationale Baustofftagung. – Weimar, 2009. – P. 1-0606-0607.

6. Schlonkina, S. Erhärten und Eigenschaften von Mischzemente / S. Schlonkina, M. Garkavi, **I. Hripacheva** // 17 Internationale Baustofftagung. – Weimar, 2009. – P. 1-0609-0612.